

基于不同透光光谱的天然光视觉与非视觉研究

陈晓东¹, 张昕², 杜江涛³

(1. 清华大学建筑学院, 北京 100084; 2. 清华大学建筑学院, 北京 100084; 3. 利物浦约翰莫尔斯大学, 英国利物浦)

摘要: 本研究聚焦不同透光光谱的玻璃下的天然光对办公空间人的视觉与非视觉评价的影响方式, 实验于一典型办公室展开, 于 2016、2017 年完成。实验详细记录了被试的眼部垂直照度数据、主观评价问卷及主观任务表现等多种物理数据及实验数据, 旨在探讨天然光环境、玻璃颜色和人的视觉评价、觉醒度、情绪以及工作表现间的关联。主要结论如下: 1) 视觉评价而言, 夏季白玻最好, 冬季蓝玻最好, 夏季临近中午时间点视觉评价相对最好, 冬季则呈现相反的结果; 2) 对于觉醒度, 冬季实验人的上午觉醒度显著优于下午, 夏季觉醒度缺失了时间维度的变化; 3) 情绪而言, 红玻显著增加了被试的消极情绪水平; 4) 红玻客观任务表现最差, 而白玻的客观任务表现综合评价最高。

关键词: 天然光; 透光光谱; 视觉评价; 非视觉评价

Investigating the Effect of Daylighting and Colored Glazing Systems on Visual and Non-visual Performance in an Office in Beijing

Chen Xiaodong¹, Zhang Xin², Du Jiangtao³

(1. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 2. School of Architecture, Tsinghua University, Beijing 100084, China; 3. Department of Built Environment, Liverpool John Moores University, Liverpool, England)

Abstract: This article presents a full-scale survey of the impact of various colored glazing systems on the occupants' visual and non-visual performances and working performance in a daylit office in Beijing, China. Seven glazing systems were investigated during two seasons in 2016 and 2017. The lighting measurements and subjective assessments were conducted to find the relationship between lighting conditions, glazing types, and visual and non-visual performances including visual assessment, alertness, mood, and also working performance. This research focused on clarifying how different transmitted and colored glazing affect visual and non-visual performance. For visual performance, the white and blue glazing got best score, while the red glazing achieved lowest score in winter. Also, there is no significant relevance between color of the glazing and subjects' alertness. Besides, subjects felt better when it's near the noon in summer, however, they had better visual performance when it's in the morning and afternoon, specially, visual scores of morning were higher than the afternoon. The red and green glazing could significantly improve subjects' negative moods, which means making subjects feel bad. As for the working performance, the red glazing got a worse working performance, while

基金资助: 国家自然科学基金, 编号 51778322

作者简介: 陈晓东 (1992-), 男, 吉林白山, 博士生, 博士在读 Email: thuarchcxid@foxmail.com

the white glazing got best working performance.

Key words: daylight; transmitted spectrum; visual performance; non-visual performance

1 研究背景

玻璃是建筑围护结构的重要材料，被视为影响建筑节能的重要因素。近年来，随着镀膜及有色玻璃技术的快速进步，有色玻璃在全球范围内的当代建筑中被广泛使用。针对北京地区办公人群在线调研，收集有效问卷 842 份，结果显示绿色、蓝色等有色玻璃使用相当普遍。

有色及镀膜玻璃设计的初衷往往是基于太阳能控制的考量，例如减少眩光和过热风险。Matusiak 结合具体实践的研究表明，当前有色玻璃极易扰乱建筑空间内天然光的呈现。Arsenault 的研究表明茶玻相比于蓝玻与白玻更受人们青睐。工作空间的人工光颜色对人的表现有显著作用，窄波段的红光可显著提升日间的警觉度及工作表现。

办公建筑为控制热荷载而大量使用的各种反射/彩色/吸热玻璃，此前只被认为对基于 $V(\lambda)$ 的颜色知觉造成影响，关注真实空间中有色玻璃对人影响机制的研究还相对匮乏，其对非视觉的生理/心理影响亟待评估。宽波段的天然光结合不同颜色的玻璃如何影响人的生理及心理，至今仍不清晰。

基于上述研究背景，本研究以办公空间为例，研究 7 种不同透光光谱玻璃条件下的天然光视觉及非视觉效应。视觉部分研究内容以视觉主观评价为主；非视觉效应则涵盖觉醒度、情绪以及客观任务表现等三方面。本研究希望重新评估现有办公环境的光环境问题，有助于探讨不同光谱透光材料对人生理及心理的影响，并为健康照明标准提供研究参考。

2 实验设计

本研究针对 7 种不同透光光谱的玻璃，共进行了四次实验，包括 2016 年两次预实验，以及 2017 年夏季 3 个月及冬季 3 个月的正式实验，具体实验时间和实验内容见表 1。本文将主要论述正式实验的实验设计，后续数据分析主要基于正式实验获取的有效数据。

表 1 预实验和正式实验的日期及实验内容

时间	玻璃颜色	实验内容	被试人数
2016 年 3 月 31 日-2016 年 4 月 5 日	蓝、白、茶、超白	视觉与非视觉主观评价	15
2016 年 11 月 16 日-2017 年 1 月 12 日	蓝、白、茶、灰、绿	视觉与非视觉主观评价、客观任务表现、唾液	17
2017 年 6 月 10 日-2017 年 8 月 26 日	蓝、白、茶、灰、红、绿、深蓝	视觉与非视觉主观评价、正负情绪、觉醒度、客观任务表现	12
2017 年 11 月 17 日-2018 年 1 月 15 日	蓝、白、茶、灰、红、绿、深蓝	视觉与非视觉主观评价、正负情绪、觉醒度、客观任务表现	11

2.1 实验条件及被试

实验空间位于清华大学建筑系馆四层朝向正南的实验室（图 1），实验室空间尺寸为 6300mm×3200mm，空间划分分为光适应前室和实验区两部分，实验区可灵活设置 2-5 个实验位置，正式实验设置 A1-A2 个实验位置，T、B 为 GONOGO-test 位置。外窗改造为超白玻；内窗改造为木制组合窗框系统，窗宽 2320mm、窗高 2314mm，包括 8 小块（500mm×440mm）、2 大块（1000mm×1030mm）玻璃，可实现两类多组组合方案，玻璃厚度具有 0-2cm 的选择余地，可整合半透明 PV，

在半小时内可完成全部玻璃的更换。室内各墙面地面反射比数据如下：地面 30%，墙面 88%，天花 88%，桌面 24%，内窗框 89%，外窗框 60%。

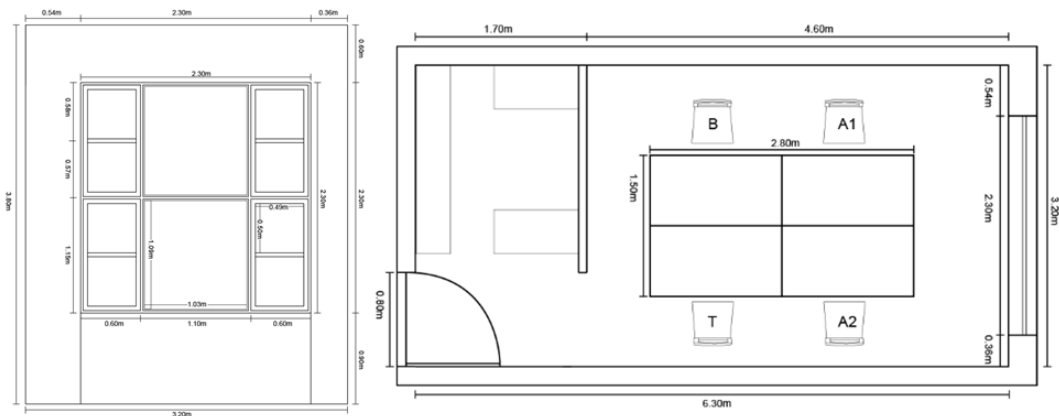


图1 实验室平面及窗户尺寸

正式实验对被试的身体状况、视觉及睡眠类型等做了明确规定。夏季实验共招募 12 名有效被试, 冬季实验招募 11 名被试试。

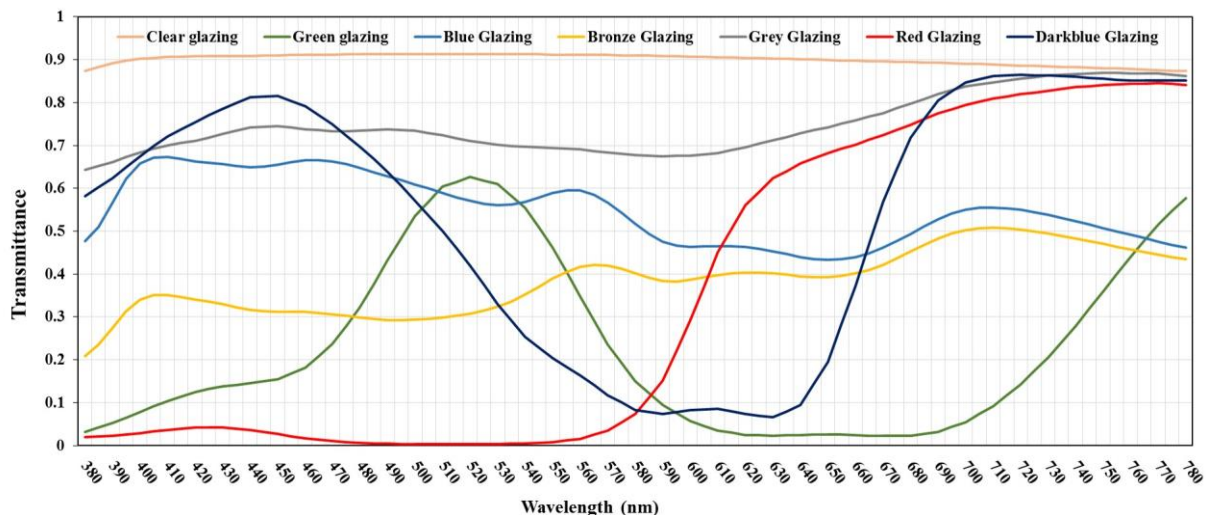


图 2 7 种实验玻璃的透光光谱

结合北京市办公空间光环境调研结果,同时为了保证研究可覆盖长波段、短波段和中波段均有典型峰值的玻璃颜色,本实验选取7种建筑市场典型的透光材料类型作为研究对象(图2),包括白玻、蓝玻、茶玻、灰玻、绿、红、深蓝,其中后四种采取玻璃角部贴膜实现不同玻璃颜色。

2.2 实验方法

2.2.1光度参数测量

本实验对被试工作空间的光度学参数进行测量,利用 SPIC-200 彩色光谱照度计,间隔 10 分钟,

记录进入人眼(距桌面 $35\pm 5\text{cm}$, 平行于人眼方向)、工作面(距地面 90cm , 水平方向)的光谱数据, 同时记录照度、色温、显色系数等详细光度学数据。

2.2.2 睡眠评估

实验通过 MEQ 清晨-夜晚型睡眠量表, PSQI 睡眠问卷以及睡眠日志, 对被试的睡眠情况进行有效监督。被试招募阶段, 通过 MEQ 清晨型-夜晚型睡眠量表获取被试基本睡眠类型, 剔除极其不良睡眠习惯被试; 采取 PSQI 睡眠问卷评估被试实验前一段时间的睡眠情况; 利用睡眠日志获取被试当晚的睡眠情况, 睡前 10 分钟及醒后 10 分钟内填写, 保证被试实验期间作息规律。

2.2.3 视觉与非视觉主观评价

综合参考了多种视觉评估量表, 拟写了相应的 VAS 视觉模拟评价问卷, 并借鉴经典的 KSS 量表, 作为评价觉醒度的指标。具体而言, 采用 VAS 视觉模拟评价问卷(附录表 5), 标度 $0-100\text{mm}$, 获取被试视觉主观评价, 每隔 45 分钟填写一次, 10 项主观评价包括: 光环境氛围愉悦与否、整体感受舒服与否、天然光是否让空间具有吸引力、对房间天然光环境的感受、光水平足够与否、眩光评价、亮度感受舒适与否、桌面区域物体颜色自然与否、物体外观清晰与否以及光的颜色是否舒服。采用 Karolinska Sleepiness Scale 对被试的清醒度进行评估, 每隔 45 分钟填写一次。

2.2.4 GONOGO 客观任务表现

实验采用 GONOGO 评估被试客观任务表现, 该方法是研究反应停止能力的常用心理学手段。通过在屏幕上随机显现两个不同的信号, 如图像或者文字等, 被试要对特定信号刺激做出反馈, 即为 Go 反应, 而对另一个刺激不作出反应, 即为 No Go 反应。对 No Go 信号刺激的错误反馈一般可作为反应停止困难的评估指标。

2.2.5 PANAS 情绪量表

本研究采用 PANAS 量表对被试的情绪状态进行评估。Watson 等编制的积极-消极情感量表(Positive Affect and Negative Affect Scale) PANAS 在学界使用广泛, 国内研究印证, 该量表拥有较优的结构效度和内部一致性信度。该量表由 20 个包含不同情绪、情感的词汇组成, 包括 10 个积极情绪评价问题和 10 个消极情绪评价问题, 正消极问题交替出现, 每个问题分为几乎没有、比较少、中等程度、比较多、极其多等 5 个答案选项, 计算积极情绪和消极情绪对应总分作为情绪评估的指标。

3 分析与讨论

本文采用双因素方差方法, 分析颜色、时间两个主效应及其交互效应, 对视觉主观评价、觉醒度、情绪、客观任务表现等实验结果是否具有显著作用。颜色主效应涵盖蓝、白、茶、深蓝、绿、灰、红等 7 个类别, 而时间主效应则因实验因变量不同而存在差异, 视觉主观评价和觉醒度问卷每 45 分钟填写一次, 因而包括 10 个类别: 08:30、09:15、10:00、10:45、11:30、13:00、13:45、14:30、15:15、16:00, 而情绪及客观任务表现实验间隔 90 分钟, 因而包括 4 个类别: 10:00、11:30、14:30、

16:00。方差分析的事后分析,采用 LSD 最小显著性差异法,用 T 检验进行颜色和时间各组间的两两比较,检验各水平均值间细微的差异。

由于夏冬两季实验的天然光情况差异较大,且依据 Aries 等研究表明季节是影响人情绪和工作效率的重要因素,具体分析中将夏冬两季分开处理,并将其结果进行对比分析。

3.1 视觉主观评价

对 10 个视觉主观评价分别作为因变量,进行方差分析及 LSD 分析,视觉主观评价问题结果比较相似,图 3 展示了部分视觉评价问题的结果。主要结论包括:1) 从玻璃颜色角度,冬夏两季各色

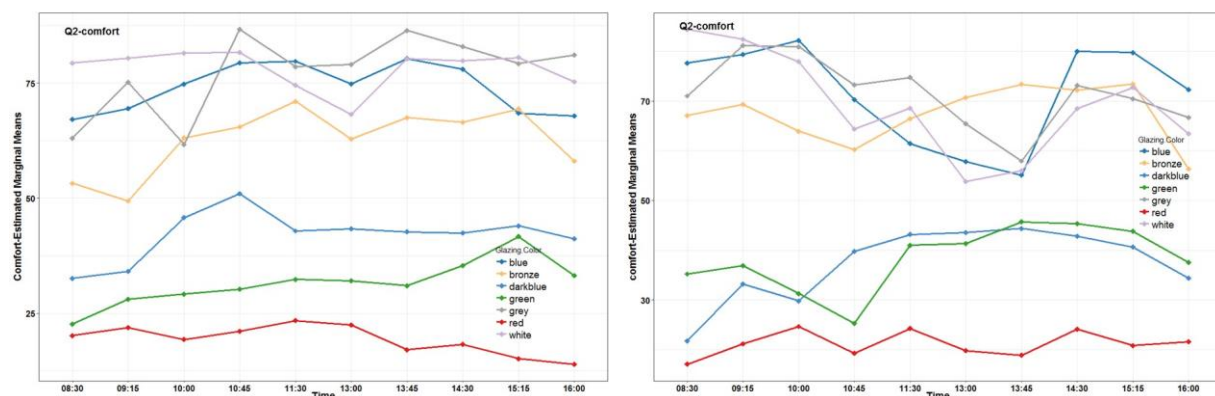


图 3 夏冬两季不同玻璃颜色 and 时间的视觉评价 (舒适感受)

玻璃的视觉评价可大致分为四或五个梯队,在夏季,白玻的视觉评价最好,灰玻、蓝玻较好,而茶玻其次,深蓝、绿玻的评价其次,红玻最不喜欢,而在冬季,蓝玻的视觉评价最好,白玻、灰玻和茶玻较好,深蓝、绿玻评价较差,红玻评价最差;2) 从时间维度上,夏季临近中午时间点 10:45、11:30、13:45 视觉评价相对最好,其余早上和近傍晚时段评价较差;而在冬季则呈现相反的结果,临近午间视觉评价较差,而其余早上和近傍晚时段反而较好,其中上午时段 09:15、10:00 整体略优于下午 15:15、16:00 时间点;3) 视觉主观评价各问题的结果相似,印证了问卷内部信息的一致性。

3.2 觉醒度

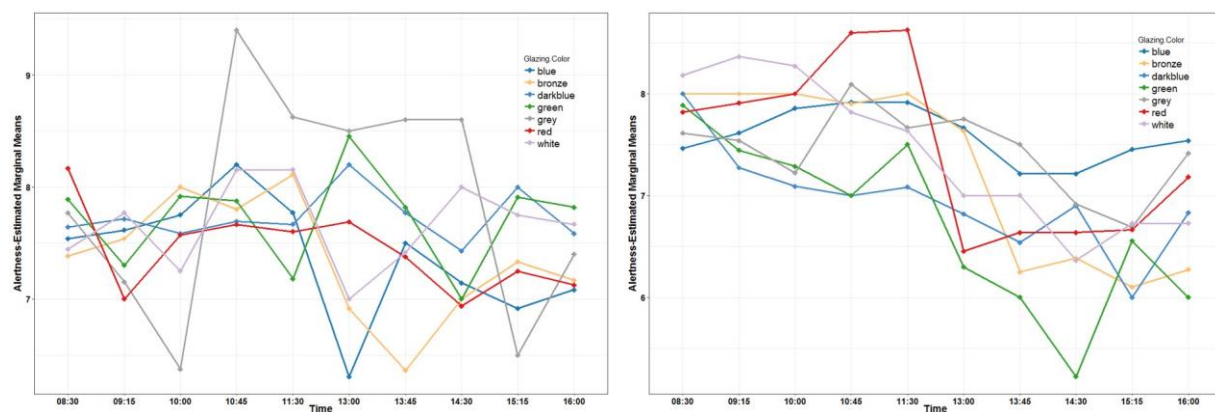


图4 夏冬两季不同玻璃颜色和时间的觉醒度评价

觉醒度（图4）作为因变量的分析结果表明：1）不同颜色玻璃对办公空间人的觉醒度并不存在显著作用；2）冬季实验，办公空间中人上午的觉醒度显著优于下午，即上午时段人更加清醒，觉醒度存在时间维度的规律，遵循一定的生理节律范式；3）暗环境条件下，如夏季实验，觉醒度评价缺失了时间维度的变化，一个可能的解释是，暗环境会扰乱人对时间的感知，进而导致生理节律一定程度的紊乱。

3.3 正负情绪

积极情绪和消极情绪（图5）分别作为因变量的分析结果表明：1）红玻对被试情绪影响最大，显著提高了被试的消极情绪水平，其次是绿玻；2）无论夏季还是冬季，不同颜色的玻璃对于办公空间人的积极情绪影响较小，不存在显著差异。

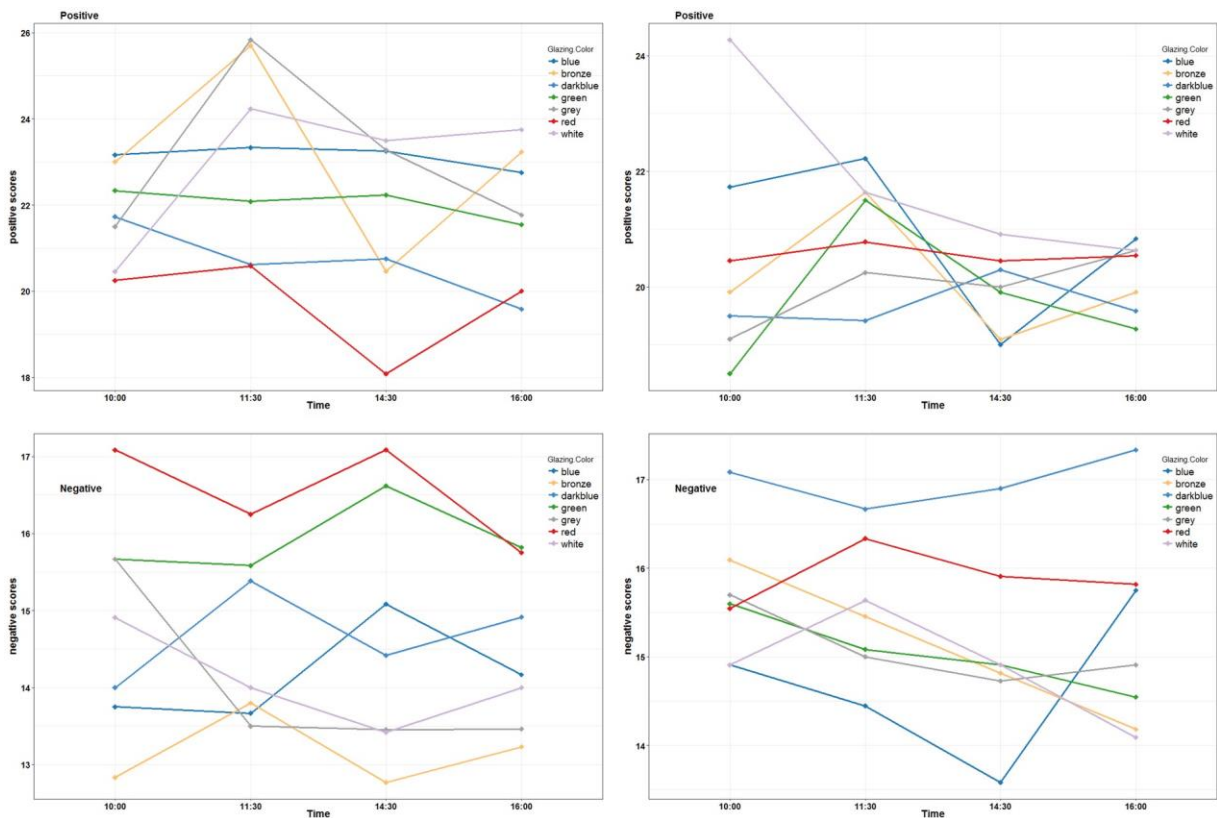


图5 夏冬两季不同玻璃颜色和时间正负情绪评价

3.4 GONOGO 客观任务表现

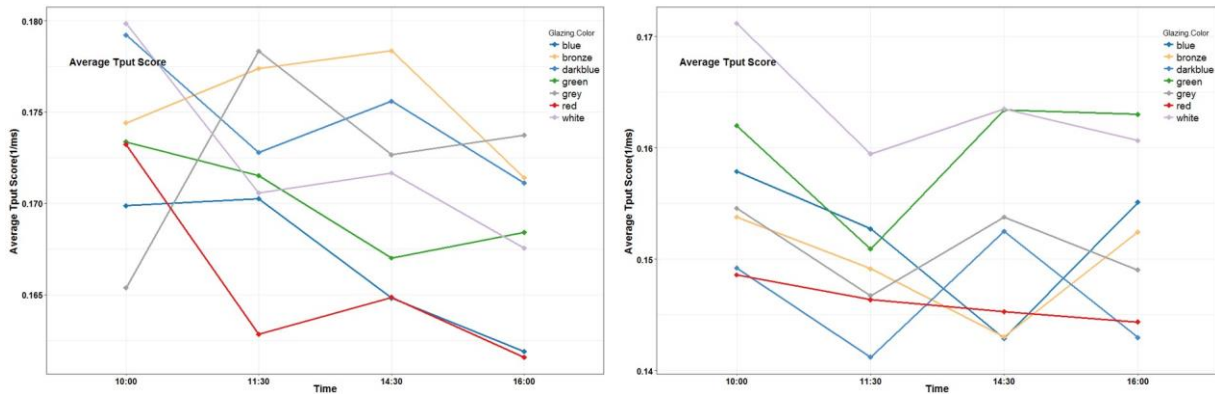


图6 夏冬两季不同玻璃颜色 and 时间的客观任务表现

客观任务表现评价指标（图6）作为因变量的分析结果表明：1）不同颜色玻璃对于被试反应的准确率并不存在显著影响；2）红玻显著增加了被试客观任务表现时的反应时间，进而降低了 Tput 值（评估客观任务表现效率的指标），影响了客观任务表现的效率；3）白玻的客观任务表现综合评价最高。

4 结论

本文的主要结论为：1）对于视觉主观评价，白玻和蓝玻的评价最高，而红玻评价最差，茶玻评价居中；2）不同颜色玻璃对觉醒度不存在明显差异，而在时间维度上，上午觉醒度显著优于下午；3）红玻和绿玻会显著提高了被试的消极情绪水平；4）红玻显著增加了客观任务表现时的反应时间，影响了客观任务表现的效率，白玻的客观任务表现综合评价最高。

参考文献：

- [1] Jiang, X, Chen, X, Zhang, X. Study on the relationship between sleep quality, psychological and physical discomfort and office lighting: based on a full-scale survey [C]. CIE midterm congress, Jeju, October 28, 2017.
- [2] Angelo K, Matusiak B, Anter K F. Colour shift behind modern glazing[C]. Color We Live: Color and Environment. Interim Meeting of the International Colour Association. 2012.
- [3] Arsenault H, Hébert M, Dubois M C. Effects of glazing colourtype on perception of daylight quality, arousal, and switch-on patterns of electric light in office rooms[J]. Building & Environment, 2012, 56(56):223-231.
- [4] Sahin L, Figueiro M G. Alerting effects of short-wavelength (blue) and long-wavelength (red) lights in the afternoon.[J]. Physiology & Behavior, 2013, 116(2):1-7.
- [5] Aries M B C, Veitch J A, Newsham G R. Windows, view, and office characteristics predict physical and psychological discomfort[J]. Journal of Environmental Psychology, 2010, 30(4):533-541.